
RAPPORT DE CONJONCTURE

DU COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉDITION 2014

Extrait



CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche – 75005 Paris

SECTION 17

SYSTÈME SOLAIRE ET UNIVERS LOINTAIN

Extrait de la déclaration adoptée par le Comité national de la recherche scientifique réuni en session plénière extraordinaire le 11 juin 2014

La recherche est indispensable au développement des connaissances, au dynamisme économique ainsi qu'à l'entretien de l'esprit critique et démocratique. La pérennité des emplois scientifiques est indispensable à la liberté et la fécondité de la recherche. Le Comité national de la recherche scientifique rassemble tous les personnels de la recherche publique (chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens). Ses membres, réunis en session plénière extraordinaire, demandent de toute urgence un plan pluriannuel ambitieux pour l'emploi scientifique. Ils affirment que la réduction continue de l'emploi scientifique est le résultat de choix politiques et non une conséquence de la conjoncture économique.

L'emploi scientifique est l'investissement d'avenir par excellence

Conserver en l'état le budget de l'enseignement supérieur et de la recherche revient à prolonger son déclin. Stabiliser les effectifs ne suffirait pas non plus à redynamiser la recherche : il faut envoyer un signe fort aux jeunes qui intègrent aujourd'hui l'enseignement supérieur en leur donnant les moyens et l'envie de faire de la recherche. On ne peut pas sacrifier les milliers de jeunes sans statut qui font la recherche d'aujourd'hui. Il faut de toute urgence résorber la précarité. Cela suppose la création, sur plusieurs années, de plusieurs milliers de postes supplémentaires dans le service public ainsi qu'une vraie politique d'incitation à l'emploi des docteurs dans le secteur privé, notamment industriel.

Composition de la section

Michel MARCELIN (président de section); Patrick BOUMIER (secrétaire scientifique); Monique ARNAUD; Catherine BOISSON; Carine BRIAND; Gilles CHABRIER; Sylviane CHAINTREUIL; Pier-Stefano CORASANITI; Françoise GAZELLE; Christian GUILLAUME; Fabrice HERPIN; Pascale JABLONKA; Maud LANGLOIS; Christophe LE PONCIN-LAFITTE; Louis LE SERGEANT D'HENDECOURT; Agnès LÈBRE; Emmanuel LELLOUCH; David MOUILLET; Thierry PASSOT; Geneviève SOUCAIL; Philippe STEE.

Résumé

L'INSU mène traditionnellement, depuis de nombreuses années, des exercices de prospective. Ce rapport de conjoncture bénéficie de la préparation du colloque de prospective Astronomie-Astrophysique de l'INSU (Giens, 2014) et reprend une partie des travaux menés à cette occasion. Les équipes françaises sont impliquées dans de nombreux projets internationaux, au sol et dans l'espace, et il y aurait tout lieu de s'en réjouir si la baisse des recrutements dans ce domaine de la recherche ne venait pas noircir le tableau.

Introduction

Depuis le rapport de conjoncture précédent (2010) plusieurs faits marquants sont apparus dans notre discipline. On peut citer les résultats des satellites Planck, Herschel et CoRoT, la mise en service du radiotélescope ALMA, le lancement du satellite Gaia et le démarrage du chantier de l'E-ELT, sans oublier l'autre grand projet sol européen : CTA. Il y a enfin la préparation des missions sélectionnées par l'ESA dans le cadre de Cosmic Vision pour la décennie à venir : Solar Orbiter, CHEOPS, Euclid, JUICE et PLATO. Pour compléter ce paysage, il faut souligner l'augmentation constante du nombre d'exoplanètes découvertes qui ouvre de nouveaux champs d'investigation et amène en particulier au développement de la recherche de bio-signatures, en lien avec d'autres disciplines.

Le pavage thématique de notre discipline s'appuie sur les Programmes Nationaux (PNCG, PNHE, PCMI, PNPS, PNP, PNST) et sur l'Action Spécifique GRAM. L'analyse thématique de ce rapport est issue des travaux de préparation du colloque de prospective 2014, de même que les sections concernant les outils de l'astrophysique et son organisation.

I. Analyse thématique

Cette section présente, pour chacun des six Programmes Nationaux de notre discipline et pour l'AS GRAM, un fait marquant survenu au cours des quatre dernières années, les forces et faiblesses de la communauté correspondante ainsi que les recommandations d'évolution.

A. Cosmologie et galaxies

Le Programme National de Cosmologie et Galaxies couvre un domaine en pleine effervescence marqué par l'exploitation des données exceptionnelles recueillies par les satellites Planck et Herschel, la mise en opération graduelle d'ALMA, le lancement du satellite Gaia et l'avènement prochain des satellites JWST et Euclid et des grands télescopes au sol E-ELT et SKA. Près de 600 chercheurs sont impliqués dans cette thématique.

1. Fait marquant

Les premiers résultats du satellite ESA Planck concernant la cosmologie ont fourni en 2013 une mesure précise des 7 premiers pics du spectre de puissance angulaire des fluctuations de température. Ces résultats modifient légèrement les paramètres cosmologiques précédemment déterminés à partir du spectre composite de la mission NASA WMAP et des télescopes au sol SPT (*South Pole Telescope*) et ACT (*Atacama Cosmology Telescope*). Le modèle dit Λ CDM est en parfait accord avec les données, au niveau du pour cent, et en très bon accord avec la nucléosynthèse primordiale ainsi qu'avec les résultats récents des sondes SNIa et BAO, auxquels les équipes françaises ont contribué de manière essentielle. Le paradigme de l'inflation est confirmé, avec pour la première fois une mesure de l'indice spectral des fluctuations primordiales de température significativement différente de 1, en

accord avec l'un des modèles d'inflation les plus simples. Par ailleurs, les données Planck favorisent le modèle standard des particules avec seulement trois familles de neutrinos et une « faible » valeur de la constante de Hubble révisée à la hausse l'âge de l'Univers (13,8 milliards d'années).

Ces résultats spectaculaires reposent sur l'énorme effort (en particulier dans les laboratoires français, ayant le leadership de l'instrument Planck/HFI) qui a permis de maîtriser toutes les étapes, de la conception de la mission à la publication des résultats. Enfin, l'analyse des données polarisées produira en 2014 une nouvelle récolte de résultats scientifiques.

2. Forces et faiblesses

Les conditions dans lesquelles les équipes françaises s'apprentent à répondre aux grandes questions du PNCG ne sont pas uniformes. Les compétences scientifiques et techniques ne font jamais défaut, mais certaines thématiques souffrent parfois d'un manque crucial de moyens, de valorisation ou de coordination.

Points forts

Les travaux d'équipes françaises en cosmologie théorique ont été très remarquables internationalement, notamment sur les non Gaussianités du fond diffus cosmologique ; les modèles d'inflation ; les calculs analytiques et numériques de croissance des structures ; les modèles de gravité modifiée, en particulier en lien avec la thématique de l'énergie noire, les théories de Horava-Lifshitz ou encore la démonstration de la validité du mécanisme de Vainshtein, crucial pour les théories en vogue de gravité massive ; et les tests du principe cosmologique.

La France se distingue par son expertise dans les domaines de l'astronomie spatiale IR et micro-ondes (formation d'étoiles ; propriétés du milieu interstellaire des galaxies ; rayonnement de fond avec signal cosmologique et avant plans), couronnée de succès par le déve-

loppement et l'exploitation des données des satellites Planck et Herschel.

La capacité de mobilisation de la communauté française autour des projets « énergie noire » (SDSS-III/BOSS, HSHS, VIMOS/VIPERS et Euclid) a permis de sécuriser le leadership de la France sur la mission Euclid et l'octroi aux équipes françaises de responsabilités majeures sur des aspects instrumentaux et logiciels de cette mission.

La France a affirmé son expertise dans le développement, le traitement des données et l'exploitation scientifique des grands relevés d'imagerie (CFHTLS), de spectroscopie (VVDS, zCOSMOS, VIPERS, VUDS, Gaia-ESO Survey) et de spectroscopie intégrale de champ (IMAGES, MASSIV, MUSE). Cette expertise et la capacité des équipes françaises à se fédérer (par exemple, autour d'une stratégie commune pour un ELT-MOS) sont de sérieux atouts pour l'avenir.

La communauté X française, toujours très impliquée dans l'exploitation de XMM-Newton, est bien positionnée dans la préparation scientifique et instrumentale du projet Athena, dont elle a participé à la sélection par l'ESA, avec un PI-ship potentiel sur l'un des deux instruments.

Les équipes françaises ont largement participé à l'exploitation et à la valorisation du Plateau de Bure et son évolution vers NOEMA. Cette expertise est précieuse pour l'exploitation d'ALMA. Aux plus basses fréquences, les équipes françaises participent activement à LOFAR (station « traditionnelle » à Nançay et projet de super-station NenuFAR) et au SKA Design Study (prototype EMBRACE à Nançay), avec une insertion croissante de chercheurs français dans des projets et groupes de travail internationaux liés à SKA.

La France a une grande tradition dans l'observation et la modélisation (modèles de Besançon, Pégase, Galaxev) de populations stellaires. Son positionnement stratégique dans le domaine de l'archéologie galactique au sol et dans l'espace (Hipparcos, Gaia) s'est concrétisé par le leadership français pendant les 6 années les plus cruciales du développe-

ment du DPAC de Gaia (auquel la France participe pour 25%).

La fédération des efforts de simulations numériques de formation et d'évolution des grandes structures et des galaxies depuis le projet Horizon a permis de hisser et maintenir la France dans le peloton de tête des acteurs mondiaux du domaine (aussi bien pour la physique mise en œuvre, que pour les techniques et moyens développés).

Points faibles

Malgré son implication dans le Gaia-ESO Survey (105 étoiles de la Voie Lactée), la communauté française ne dispose pas d'un véritable accompagnement à Gaia, qui requiert une nouvelle instrumentation (champ $> 1 \text{ deg}^2$, gain multiplexe > 500 objets/champ). La participation française aux projets de nouvelle génération (e.g. WEAVE, 4MOST) est encore fragile.

Malgré une importante communauté CMB et l'expérience Planck, la France n'est porteuse que d'un projet de détection des modes B de polarisation du CMB après Planck (au sol avec QUBIC), même si certaines équipes se positionnent sur des expériences étrangères (comme la manip ballon Spider). Néanmoins, la communauté se mobilise pour une proposition de mission spatiale ESA/M4 de caractérisation des modes B pour 2026.

Bien que la communauté française des grandes structures ait été très active dans l'exploitation des satellites XMM-Newton, Planck et Herschel, elle n'a pas accès aux nouveaux relevés SZ américains (SPT et ACT) et uniquement au cas par cas au relevé en rayons X germano-russe eROSITA. La communauté française poursuivra surtout l'exploitation de XMM-Newton, en préparant la future mission Athena, et pourra, à partir de 2016, avoir accès à des observations millimétriques à haute résolution ($\sim 15''$) avec IRAM/NIKA2.

La communauté française exploitant l'IRAM, qui s'est élargie ces dernières années, souhaite ne pas manquer l'atout que représente la phase 2 de NOEMA (dont le finance-

ment n'est pas encore assuré), avec un accès en proportion juste de l'investissement français au projet. Par ailleurs, l'absence d'archivage à l'IRAM freine l'exploitation des données dans un domaine de longueurs d'onde de plus en plus compétitif.

Les interactions entre théoriciens de l'univers primordial et astrophysiciens, qui ont déjà progressé ces dernières années, pourraient encore évoluer vers une meilleure intégration de la théorie dans des projets astrophysiques.

La participation française à des projets intéressant des laboratoires INSU et IN2P3 pourrait parfois bénéficier de plus de concertation et de coordination (par exemple, dans la préparation des grands relevés comme LSST et Euclid).

3. Recommandations d'évolution

Assurer le suivi photométrique sol dans l'hémisphère nord de la mission Euclid menée par la France en conduisant un relevé à nature communautaire avec MegaCam, qui pourrait aussi fournir des cibles au programme spectroscopique DESI et permettre à la France d'accéder aux données DESI.

Assurer le suivi spectroscopique sol et participer activement à l'exploitation scientifique de la mission Gaia en sécurisant avec la plus grande priorité une participation française au projet WEAVE, qui représente la meilleure chance d'atteindre cet objectif à court terme, suivi plus tard des projets MOONS et éventuellement 4MOST.

Poursuivre le travail accompli depuis 2013 par la communauté pour fédérer ses efforts autour d'une stratégie nationale de proposition d'instrumentation MOS pour l'E-ELT et assurer le PI-ship sur ce type d'instrumentation.

Finaliser le financement des dernières antennes de NOEMA pour atteindre la sensibilité et la résolution qui rendent cet instrument compétitif pour la communauté PNCG.

Encourager les efforts de la communauté pour jouer un rôle prépondérant dans la préparation les grands programmes d'observation

avec le JWST (époque de la réionisation, galaxies primordiales, populations stellaires résolues au-delà du Groupe Local).

Sécuriser l'accès aux données du LSST pour permettre à la communauté INSU de participer aux développements majeurs offerts par ce projet dans les domaines de l'énergie noire, des grandes structures et des populations stellaires (accompagnement Gaia, Euclid, SVOM, Athena).

Continuer de faire progresser la représentation française au sein des programmes scientifiques des précurseurs ASKAP et Meer-KAT de SKA tout en conduisant le projet LOFAR, dont l'aspect exploratoire pour SKA serait décuplé par l'extension NenuFAR.

Sécuriser la participation majeure de la communauté française à la mission Athena, avec le leadership du calorimètre X-IFU et une participation au deuxième instrument, WFI, et au segment sol.

Valoriser l'héritage Planck de la communauté en se mobilisant fortement pour une proposition de mission spatiale ESA/M4 de caractérisation (des modes B) de la polarisation du CMB à l'horizon 2026.

Continuer de soutenir les simulations numériques et modèles de formation et d'évolution des structures en veillant à maintenir un juste équilibre entre le soutien aux développements fondamentaux (méthodes numériques, modèles physiques) et celui à l'utilisation des simulations pour la préparation et l'interprétation des grands relevés.

Soutenir l'exploitation des données d'archive de projets majeurs sur lesquels la France a acquis une expérience importante (e.g. Planck, Herschel, XMM). Cet objectif est d'autant plus souhaitable que les données recueillies par les grands projets modernes sont extrêmement riches et que l'écart temporel entre les projets s'agrandit.

Doter l'IRAM d'une archive pour accroître son impact scientifique et éviter de coûteuses observations redondantes.

B. Hautes énergies

Créé en 2012, suite à la prospective INSU de 2009, le Programme National Hautes Énergies, est soutenu par le CNES, le CNRS (INSU et IN2P3) et le CEA/IRFU. Il est structuré autour de cinq thèmes : l'Univers comme laboratoire, les objets compacts et leur environnement, les phénomènes explosifs, les rayons cosmiques, les nouveaux messagers.

1. Fait marquant

Le satellite de la NASA Fermi a été lancé en juin 2008. L'instrument principal, le LAT, détecte les rayons γ du GeV. Il balaie le ciel en permanence et fournit à la fois des alertes et un relevé complet. Les laboratoires français (IN2P3, INSU et CEA) sont particulièrement impliqués dans les résultats très visibles que sont les catalogues : catalogue général (le « 2FGL », 2012, ApJS, 199, 31 est la publication de 2012 la plus citée en astrophysique ; le prochain, contenant 3000 sources γ , sera publié en 2014) ; AGN ; pulsars ; sursauts γ .

Plus de 500 sources ont été détectées au-delà de 10 GeV et servent de référence pour les observations au TeV aujourd'hui et demain (CTA). Ces catalogues permettent de passer de l'étude de sources à l'étude de populations. L'ampleur, la variété et l'impact des résultats sont majeurs : le « h-index » des papiers publiés depuis 2010 par la collaboration Fermi est supérieur à 50.

Parmi ces résultats, la détection de plus de 50 pulsars milliseconde, dont beaucoup n'étaient pas connus au préalable, est un résultat particulièrement marquant associant les γ et la radio avec une contribution française clef (chronométrage, observations Nançay). L'émission provient de la magnétosphère externe, selon un mécanisme sans doute commun aux pulsars jeunes mais pas encore bien élucidé. Ces détections enrichissent fortement le catalogue de pulsars très stables nécessaire à l'élaboration d'un détecteur d'ondes gravitationnelles par chronométrage (EPTA).

Un autre résultat marquant associé aux équipes françaises est la détection de galaxies proches (LMC, M31) indiquant que l'accélération de rayons cosmiques est un phénomène général associé à la formation d'étoiles (aux supernovae). Cette corrélation se poursuit avec les galaxies à flambée d'étoiles, dont la luminosité γ est proportionnelle aux luminosités IR et radio. Ces galaxies contribuent sans doute au moins autant que les noyaux actifs au fond diffus γ .

2. Forces et faiblesses

La communauté dispose de forces appréciables en ingénieurs et techniciens bien qu'elle n'ait pas échappé ces dernières années à la réduction générale des effectifs. Ce savoir-faire expérimental reconnu ouvre des opportunités et permet une participation de haut niveau aux R&D instrumentales. La communauté PNHE est ainsi présente dans la quasi-totalité des grands projets sol/spatial du domaine en Europe, avec un rôle moteur reconnu pour nombre d'entre eux (*Athena*/IFU, Virgo, CTA, KM³NeT, etc.). En parallèle, une difficulté persiste sur l'exploitation scientifique à laquelle une part trop faible des ressources est consacrée. La multiplication des appels d'offres épuise les chercheurs ; elle finit par assécher le financement en l'éparpillant, tandis que le manque de ressources dans nos instituts complique la mise en œuvre d'une stratégie à long terme. Cette stratégie est nécessaire pour maintenir la taille critique permettant de bénéficier des investissements dans des projets de plus en plus lourds.

Le soutien des instituts via des structures nationales a permis l'émergence d'une communauté astroparticules réunissant des chercheurs d'horizon divers. C'est un avantage certain sur le long terme pour l'animation, l'analyse, et l'exploitation scientifique. Toutefois, cette dynamique d'intégration forte, comparée à d'autres pays, peut s'essouffler face à la réduction des ressources des instituts. Un repli sur le « cœur de métier » au détriment des interfaces

aurait à terme un impact sur le retour scientifique en re-cloisonnant les expertises.

Un accès privilégié aux ressources du centre de calcul de Lyon (CC-IN2P3) a permis à de nombreux groupes français d'avoir des contributions visibles, et une production scientifique compétitive, par rapport aux concurrents étrangers. Certains laboratoires, groupements de laboratoires, ou instituts, s'appuient pour leurs besoins de stockage et de calcul (simulations Monte Carlo) sur les grilles en contribuant à des mésocentres (p. ex. la « Grille au service de la Recherche en Île-de-France »), et/ou en se dotant d'un point d'accès à la grille de calcul européenne EGI. L'importance de ces ressources pour les projets ne saurait être minimisée : elles contribuent largement à notre compétitivité et doivent être soutenues.

La communauté française a largement contribué à l'émergence de l'astronomie γ de très hautes énergies depuis la fin des années 1980. En développant les caméras des télescopes HESS, la France se situe au cœur du succès scientifique de l'expérience. Avec environ 100 chercheurs travaillant dans le domaine de l'astronomie γ , la France compte une des plus grandes communautés mondiales. Aujourd'hui, une large fraction de cette communauté est investie dans le développement de l'observatoire CTA.

Le projet SVOM est un atout pour la communauté française à l'horizon 2020-2023. Une communauté expérimentée existe déjà mais qui doit être renforcée autour du suivi sol et de l'utilisation « hors sursauts ». L'investissement de la communauté PNHE dans les grands relevés synoptiques est actuellement assez faible. En revanche, la conjonction de l'investissement important de cette communauté dans les projets de détection d'ondes gravitationnelles avec les observatoires X et γ actuels constitue une configuration assez unique, potentiellement très riche de retombées scientifiques. Même si un effort de coordination existe déjà pour la recherche de contreparties croisées, cet effort doit encore être renforcé pour atteindre une taille critique en chercheurs et moyens concernés.

Le faible nombre de chercheurs du PNHE spécialisés dans la simulation numérique risque à long terme de limiter le champ d'action de la communauté en France et en Europe. La simulation numérique n'est pas la panacée à toutes les questions théoriques, différents niveaux de complexité sont utiles à la modélisation et l'interprétation, mais force est de constater qu'elle devient un outil incontournable pour valider ou explorer certaines idées. La formation de nos chercheurs à son utilisation raisonnée nous semble être un enjeu important pour l'ensemble des PN et une action commune est souhaitable.

3. Recommandations d'évolution

S'investir sans délai dans la réalisation de CTA. Les chercheurs français jouent un rôle moteur dans ce projet mondial. Une réflexion est à mener sur les moyens de structurer au niveau européen la communauté utilisatrice de cet observatoire afin de préparer au mieux l'exploitation scientifique (action COST, réseau de formation, laboratoire européen?).

Accompagner la mission SVOM par un suivi sol des sursauts gamma dans l'infrarouge à l'aide d'un télescope dédié (OFT), ce qui permettra l'étude systématique des premières minutes et la localisation précise des sursauts les plus intéressants (haut redshift), garantissant ainsi à la France le meilleur retour scientifique possible. Le PNHE recommande également de renforcer la visibilité de SVOM dans les LIA franco-chinois «origins» et «physique des particules»; et de mobiliser la communauté sur l'utilisation de SVOM hors sursauts gamma.

Préparer la première détection d'ondes gravitationnelles en soutenant l'implication française dans la réalisation et l'exploitation d'Advanced Virgo puis la mission L3 (eLISA) en renforçant les contacts sur la modélisation et sur la recherche de contreparties via, notamment, la participation à LOFAR (rémanences radio) et SVOM (sursauts courts).

Renforcer l'implication de la communauté dans le domaine radio : exploitation scientifique de LOFAR & NenuFAR et mise en place d'une contribution française à SKA.

Assurer une participation française majeure au futur grand observatoire en rayons X (mission L2 *Athena*), une pierre angulaire du domaine à l'horizon 2030 dont la phase de définition couvre cette prospective.

Engager une réflexion prospective sur la physique du rayonnement cosmique, du GeV au ZeV, afin de faire le bilan des avancées apportées par les différents instruments en opération, d'identifier les enjeux scientifiques majeurs en suspens, et de définir une feuille de route expérimentale sur le long terme.

C. Physique et chimie du milieu interstellaire

Le Programme National Physique et Chimie du Milieu Interstellaire couvre le vaste domaine d'échelles intermédiaires entre les systèmes (extra)galactiques et les étoiles et planètes. Ce domaine est en pleine révolution grâce aux résultats inédits de Planck et d'Herschel, et aux progrès spectaculaires des radiotélescopes au sol (ALMA, PdBI & NOEMA, JVLA) et de l'astrophysique de laboratoire. Il réunit environ 300 chercheurs, aux expertises complémentaires et avec une forte composante interdisciplinaire (INSU, INP, INC, IN2P3).

1. Fait marquant

Le radiotélescope millimétrique ALMA apporte de nouvelles contraintes astrochimiques sur la dynamique de la formation stellaire. Plusieurs travaux pionniers ont révélé la puissance des études astrochimiques dépendantes du temps pour contraindre la dynamique de formation des étoiles et des disques protoplanétaires. La modélisation fine des réactions à très basse température (<10 K) a permis d'établir des «horloges chimiques»

basées sur les mesures de fractionnement isotopique. L'application aux cœurs préstellaires favorise nettement un scénario de formation rapide par compression turbulente, plutôt qu'une contraction lente régulée par la diffusion du champ magnétique. La détection avec Herschel d'eau deutérée dans les enveloppes et flots de proto-étoiles a posé de premières contraintes sur l'histoire thermique des glaces. Parallèlement, l'étude de protoétoiles avec le PdBI et ALMA a révélé des gradients chimiques inattendus et abrupts entre disque, jet, et enveloppe, qui apportent autant d'indices clés sur l'histoire de la formation de ces structures. La modélisation chimique de simulations MHD 3D des premières phases d'effondrement a déjà permis d'identifier plusieurs espèces sensibles à l'évolution en densité et en température (contrôlée par le champ magnétique), et apporte un nouvel outil d'interprétation très puissant où la communauté PCMI possède une expertise de premier plan.

2. Forces et faiblesses

La communauté PCMI est une communauté interdisciplinaire unique dans son domaine. Sur la période passée, le personnel impliqué a compris 20 % d'étudiants en thèse et 15 % de post-doctorants qui ont bénéficié d'une formation à l'interface entre disciplines.

Elle est fortement ancrée dans l'exploitation des observatoires dans l'infrarouge et le millimétrique (Herschel & Planck, IRAM...). Son implication dans le développement de modèles physiques et chimiques de plus en plus complexes des objets qui cherchent à coupler de façon auto-cohérente la chimie, la dynamique et les propriétés physiques du milieu, est une avancée indispensable pour l'analyse d'observations de plus en plus fines et riches telles que celles des interféromètres de nouvelle génération (ALMA, NOEMA, VLTI).

L'apport des physiciens et des chimistes est un atout majeur ; l'expertise et les méthodes de pointe apportées sont une garantie de la qualité et de l'originalité des résultats obtenus. En contrepartie, la forte interaction avec les astro-

physiciens est une garantie de la pertinence des résultats obtenus pour les problématiques astrophysiques.

La démarche interdisciplinaire PCMI est un atout pour les demandes émanant de cette communauté à tous les niveaux (nationaux et internationaux ; plusieurs projets européens obtenus) et elle est enviée au niveau international où elle sert de modèle pour établir des réseaux (cas de plusieurs pays européens).

La communauté PCMI a été et est un acteur majeur de la montée en puissance de l'astrochimie en tant que discipline au niveau international (création d'une sous-division astrochimie de l'*American Chemical Society*, discipline affichée dans l'institut Max-Planck).

L'astrophysique de laboratoire, avec son volet expérimental et théorique, est fortement ancrée dans la communauté PCMI, et cette activité se renforce autour des très grands instruments de la physique comme le rayonnement synchrotron SOLEIL et les sources de particules énergétiques (GANIL, Tandem d'Orsay). Elle devient en Europe une discipline à part entière : conférence ECLA 2011, mise en place de ETFLA (*European Task Force for Laboratory Astrophysics*) dans le cadre de la *roadmap* d'ASTRONET, demande en cours d'infrastructure dans l'appel H2020...

Après Herschel, il n'est prévu aucune mission spatiale dans l'IR lointain dans les 10-15 ans à venir. Le domaine IR proche à moyen est actuellement mal servi.

La couverture large des sujets abordés et des méthodes utilisées, la forte implication de la communauté dans l'obtention de données fondamentales, les temps caractéristiques longs nécessaires au développement de nouveaux modèles ou simulations de laboratoire, ainsi que les aspects interdisciplinaires mis en jeu, font que l'activité peut sembler disparate et pas assez focalisée sur les grandes questions astrophysiques.

Les équipes impliquées sont souvent de petite taille et peuvent présenter une certaine fragilité dans leur laboratoire d'accueil. Les

recrutements interdisciplinaires sont très difficiles.

L'activité d'astrophysique de laboratoire est coûteuse. Sur la dernière période, environ 60 % du budget du PCMI a été dédié à cette activité (dont 1/5 dans des laboratoires INSU-AA). Le développement d'un nombre toujours plus grand de dispositifs expérimentaux (sous l'impulsion de contrats Région, ANR, Europe...) pose la question de leur soutien en fonctionnement sur le long terme.

La prochaine période risque d'être très difficile avec la fin du soutien financier exceptionnel du CNES pour Herschel (y compris les mesures de spectroscopie) et les mauvaises perspectives de recrutement. Cela risque de démobiliser la communauté au niveau des activités interdisciplinaires avec un recentrage des équipes sur les activités hors astrophysique les plus au cœur de leur métier ou une orientation vers d'autres champs applicatifs dotés de meilleurs moyens.

3. Recommandations d'évolution

Préserver la richesse interdisciplinaire dans un contexte de restriction budgétaire et de cloisonnement en projets devient de plus en plus préoccupant. Ceci implique un soutien sur le long terme afin de maintenir l'attractivité de nos activités envers les communautés de physique et chimie, et de soutenir, par des moyens adéquats, l'activité autour des dispositifs expérimentaux d'astrophysique de laboratoire, y compris l'initiation de nouveaux projets originaux au plus proche des problématiques astrophysiques.

Tirer le meilleur profit des observations (sub)mm et IR. Dans les années à venir, la communauté PCMI est bien positionnée pour jouer un rôle majeur dans l'exploitation des observatoires (sub)mm (ALMA, NOEMA, IRAM-30m...) tout en s'investissant dans des programmes d'observations complémentaires dans l'IR (JWST, VLT, ELT). Néanmoins le nombre de chercheurs permanents est souvent trop faible par rapport aux enjeux et il est nécessaire de renforcer la capacité des équipes

à travailler au plus près des instruments (développement de nouveaux projets, traitement des données) et à développer leurs compétences en analyse des observations (de plus en plus lourdes et riches en information), en modélisation numérique (couplage de la modélisation dynamique et chimique) et en astrophysique de laboratoire.

Pérenniser les bases de données de physique atomique et moléculaire et les services théoriques pour l'analyse des observations sur le gaz et la poussière. Au-delà d'une labellisation en services d'observations (SO5), l'enjeu sera de consolider dans la durée ces services et les infrastructures de diffusion de données sous jacentes avec un soutien adéquat des OSU et une structuration en pôles thématiques nationaux qui établiront leur stratégie en concertation avec les PN.

Prendre en compte l'évolution naturelle des thématiques au cœur de PCMI. Les performances accrues des moyens d'observation, en terme de résolution angulaire mais aussi de couverture spectrale avec des grands relevés spectraux permettent une montée en puissance de l'approche PCMI sur des objets comme les galaxies extérieures, les environnements circumstellaires, les cœurs préstellaires, et soulignent l'importance de tirer le meilleur profit des interfaces entre PN.

D. Physique stellaire

Les grandes questions de la physique stellaire, structurée par le Programme National de Physique Stellaire, portent sur l'origine et l'évolution des étoiles et des planètes (conditions initiales de formation des étoiles, structure interne, évolution des étoiles et de leur environnement circumstellaire, formation d'exoplanètes), la spécificité de notre système solaire (physique du Soleil et de notre système solaire, mise en perspective avec d'autres systèmes extra-solaires), mais aussi le rôle des étoiles dans l'évolution des galaxies.

1. Fait marquant

La genèse filamentaire et dynamique des étoiles et des amas stellaires est une découverte majeure du satellite Herschel de l'ESA.

Alors que l'on a longtemps pensé que la formation des étoiles est un phénomène lent, régulé par le champ magnétique qui fige la matière interstellaire dense mais (faiblement) ionisée, les grandes cartographies Herschel des nuages moléculaires proches ont révélé un scénario beaucoup plus dynamique et rapide, où la prédominance de filaments apparaît comme un révélateur des processus physiques à l'œuvre.

Bien que l'existence de filaments soit bien reconnue depuis les années 1980, les filaments n'avaient jamais été caractérisés, avant Herschel, avec une aussi grande précision et leur omniprésence n'avait pu être révélée. La formation des filaments apparaît antérieure à celle des étoiles. Elle résulte de la dynamique turbulente guidée, focalisée par le champ magnétique. Les filaments sont des surdensités qui sont formées et entretenues par la convergence de flots d'accrétion supersoniques guidés par le champ magnétique. Ces flots apparaissent comme des « striations » perpendiculaires aux filaments. La surdensité dynamique des filaments est à l'origine de la formation des étoiles car au-dessus d'un certain seuil critique, l'effondrement gravitationnel devient inéluctable. De même, la formation des amas stellaires est associée à la physique des filaments, et correspond à la coalescence d'un réseau de filaments particulièrement riche entraînant des flots convergents très puissants (forts taux d'accrétion) permettant la formation « synchronisée » d'un grand nombre d'étoiles (amas). Les étoiles massives pourraient ne se former que lors de ces événements de formation stellaire synchronisée grâce à la focalisation de flots de matière à fort taux d'accrétion.

2. Forces et faiblesses

Points forts

La communauté française de physique stellaire couvre pratiquement toute la diversité des questions actuelles, avec des leaderships mondiaux bien établis dans plusieurs domaines comme la formation stellaire, le magnétisme stellaire, les modèles d'évolution de nouvelle génération, les simulations 3D de structure interne, l'astérosismologie, les étoiles hôtes des systèmes planétaires, les disques protoplanétaires, les surfaces stellaires résolues, l'astrométrie de précision, la haute résolution angulaire, etc. Ce large éventail d'expertise d'excellence permet une grande réactivité et force de frappe sur les thèmes en émergence en physique stellaire, que ce soit dans le développement instrumental, les nouvelles méthodes d'observation ou la modélisation théorique.

Points faibles

Il peut être difficile de conserver ces positions fortes sur une gamme aussi large de thèmes scientifiques. C'est particulièrement vrai pour les communautés assujetties aux missions spatiales qui dépendent fortement de la programmation internationale (ESA et NASA en tête). Une fois les travaux et instruments précurseurs passés, les équipes manquent souvent de soutien, et il est rare de pouvoir financer une mission de seconde génération qui permette de renforcer le leadership.

Ce manque de soutien se retrouve aussi dans les domaines théoriques, comme par exemple le faible support ingénieur dans les travaux de modélisation qui est chronique (e.g. trop peu d'IR en calcul scientifique dans les équipes de recherche). La situation française est à ce titre problématique dans la compétition internationale où les équipes concurrentes bénéficient souvent de fonction support dédiée leur permettant de se concentrer plutôt sur la valeur ajoutée qui est l'exploitation scientifique des codes.

3. Recommandations d'évolution

Sonder la structure interne des étoiles par astérosismologie fait partie des domaines d'excellences de la communauté française via l'expertise acquise avec les missions CoRoT et Kepler.

La mission spatiale PLATO 2.0 a été récemment sélectionnée pour un lancement en 2024 avec une très forte implication de la communauté. Parallèlement, des approches multitechniques sont menées pour étudier en détails les paramètres fondamentaux de certaines étoiles brillantes en combinant les observations sismologiques, interférométriques, spectroscopiques, et polarimétriques.

Étudier le magnétisme et l'activité stellaire via les observations spectropolarimétriques est aussi un domaine d'excellence de la communauté avec les instruments Espadons et Narval.

L'extension vers le proche IR avec SPIROU (CFHT) et sa copie SPIP (TBL) permettra l'étude des objets jeunes et froids ainsi que les environnements circum-stellaires.

L'extension vers le submm, avec ALMAPol, NOEMAPol, IRAM/NIKA2 et vers l'UV, avec le projet spatial UVmag, permettra d'élargir les champs d'études du magnétisme à la fois dans les étoiles et dans les disques. Enfin, la mise à jour de Narval, via l'installation de Neo-Narval (TBL), permettra d'assurer la poursuite des surveys magnétiques dans le domaine visible.

L'imagerie à haute résolution angulaire avec SPHERE, APEX-ArTÉMIS, JWST et à plus long terme ELT-CAM puis ELT-EPICS ainsi que l'interférométrie avec PIONIER (VLTI), VEGA (CHARA), GRAVITY (VLTI), MATISSE (VLTI), ou à grande longueur d'onde avec ALMA et NOEMA, s'avèrent des techniques indispensables pour étudier les régions de formations stellaires, les disques protoplanétaires et environnements stellaires ainsi que les surfaces des étoiles.

L'étude des populations stellaires et de la dynamique stellaire va connaître un essor fon-

damental avec la mission Gaia. Les observations complémentaires sols seront cruciales notamment en spectroscopie haute résolution avec les télescopes de 2m et 4m.

Les études de populations stellaires seront aussi menées en spectroscopie multiobjets avec, notamment, le GAIA-ESO survey, APOGEE, MOONS (VLT) et à plus long terme EELTMOS.

Les télescopes de 2m nationaux, désormais spécialisés, jouent et joueront un rôle clef dans l'accompagnement des missions spatiales Gaia (suivi des standards vélocimétriques, complément en vitesse radiale des orbites astrométriques des binaires, suivi des alertes), Kepler2, TESS et à plus long terme PLATO (observations spectroscopiques hautes résolutions complémentaires, mesures polarimétriques). Ils jouent de plus un rôle clef dans les campagnes multitechniques d'étoiles brillantes vues comme le Soleil.

E. Planétologie

La planétologie est par essence un domaine fortement interdisciplinaire qui repose sur les communautés de l'Astronomie-Astrophysique et des Sciences de la Terre. 533 chercheurs, enseignants-chercheurs et astronomes en France consacrent au moins une partie de leur recherche à la planétologie (total 356 ETP). À peu près la moitié d'entre eux relève de la section 17, du CNU 34 ou du CNAP. Le Programme National de Planétologie joue un rôle important dans la structuration de cette communauté.

1. Fait marquant

La sonde Curiosity a atterri avec succès en août 2012 à la surface de Mars pour y étudier l'habitabilité et rechercher des matériaux organiques dans le site du cratère Gale. L'expérience SAM, à laquelle la France contribue, a mis en évidence la présence de chlore dans plusieurs

roches martiennes, notamment sous forme de perchlorate (ClO_4^-) ou d'autres espèces organiques. Par ailleurs, l'instrument Chemcam, en partie développé en France, a permis la caractérisation de plus de 5 000 échantillons, en particulier de sédiments fluviaux et lacustres, mettant en évidence la présence d'eau de pH neutre et de faible salinité, contribuant ainsi à démontrer l'habitabilité passée de la surface martienne.

2. Forces et faiblesses

La communauté qui émerge au PNP est répartie sur 48 laboratoires. C'est une communauté très active et productive. Elle publie environ 600 articles chaque année dans des journaux à comité de lecture, dont une vingtaine dans *Nature* ou *Science*. En termes de nombre d'articles publiés et de citations, la France occupe le deuxième rang mondial après les États-Unis, assez loin devant le Royaume Uni et l'Allemagne (<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/9481-gp-le-succes-de-la-planetologie-francaise.php>). Les chercheurs français sont très présents dans presque toutes les grandes opérations au sol et dans l'espace qui intéressent la planétologie, et plusieurs grands instruments ou missions spatiales ont un leadership français (SPHERE, MATISSE, SPIROU, Rosetta, Gaia, JUICE...). La synergie interdisciplinaire décrite dans la section précédente, constitue un des points forts de la recherche française, souvent admirée et enviée à l'étranger.

Malheureusement, le manque de forces affaiblit la communauté en charge de l'analyse des données accumulées, notamment celles acquises récemment sur Mars, Vénus, Titan et les comètes. Ceci a pour conséquence que des quantités importantes de données ne sont pas valorisées en termes de publications ni par la mise en place de bases de données à valeur ajoutée. Il existe en outre un certain éparpillement des forces sur les exoplanètes et un manque relatif d'échanges et de coordination sur cette thématique, qui provient sans doute de l'origine diverse de ses acteurs. Pour cette

raison et en dépit d'efforts de synergie récents, la France a parfois du mal à peser et même être présente dans certains grands projets internationaux comme ESPRESSO et HARPS-N.

3. Recommandations d'évolution

Le maintien des compétences des ITA dans les laboratoires est crucial pour que la France conserve son leadership européen en planétologie. Nous recommandons que le potentiel technique soit maintenu dans les laboratoires pour assurer la pérennité de l'engagement des équipes françaises dans la réalisation d'instruments aussi bien sur les missions spatiales que pour les télescopes au sol, et pour soutenir l'effort croissant en astrophysique de laboratoire.

Concernant l'embauche des chercheurs en planétologie, et pour continuer à assurer un recrutement en accord avec les priorités de la discipline, le PNP recommande un coloriage de deux postes : l'un sur le thème « Origines », ouvert aux candidats ayant soit un profil observationnel soit théorique, et travaillant sur le système solaire, les exoplanètes ou les disques de débris ; l'autre sur le thème « Intérieur-surface-atmosphère des corps du Système Solaire et leurs interactions », pour des candidats ayant une forte implication sur les missions spatiales actuelles ou à venir : Cassini, Rosetta, MSL, Exo-Mars.

Le maintien à un niveau significatif du soutien financier au PNP, malgré le contexte budgétaire difficile, est une condition indispensable pour maintenir la planétologie française au premier rang européen. Les laboratoires qui ne sont pas directement impliqués sur l'instrumentation spatiale ont un besoin vital du soutien du PNP, dont le rôle dans le développement de la planétologie française et l'accroissement de son interdisciplinarité est déterminant.

Les expériences de laboratoires ne sont souvent pas assez reconnues par rapport aux expériences spatiales et à l'exploitation des grands moyens au sol. Nous recommandons

par conséquent à la CSAA de considérer avec attention les demandes de financement émanant de ces laboratoires pour la jouvence ou le renouvellement des équipements.

Le mode de financement des tickets modérateurs des télescopes nationaux de 2m doit être modifié. Nous recommandons que l'enveloppe budgétaire correspondant aux tickets modérateurs sorte des programmes, et que le temps d'observation soit distribué par un TAC commun aux programmes sur des bases strictement scientifiques.

Le PNP souhaite voir émerger et labelliser par la CSAA plusieurs services d'observation SO5, regroupés dans quatre pôles thématiques nationaux. (i) un pôle exoplanètes (services proposés par le LAM et l'IPAG, encyclopédie des exoplanètes à l'observatoire de Paris); (ii) un pôle petits corps (base de données cométaires à Paris-Nançay, données orbitales et service d'éphémérides à l'IMCCE, caractéristiques physico-chimiques des petits corps à l'Observatoire de la Côte d'Azur); (iii) un pôle sur les atmosphères planétaires (données d'observations climatiques des missions Mars-Express, MGS, MRO à l'IPSL, autres bases de données atmosphériques au LESIA, LATMOS, IAS, IPAG et LAB); (iv) un pôle sur les surfaces planétaires (un catalogue vectoriel des données de géomorphologie et de compositions minéralogiques de Mars à Paris-Sud et au Laboratoire de Géologie de Lyon, service GhoSST-SSHADE à l'IPAG). Le deuxième et le troisième pôle sont les plus mûrs et devraient pouvoir se mettre en place rapidement. Nous recommandons que les laboratoires impliqués dans ces quatre pôles s'organisent pour les mettre en place, ainsi que les services sous-jacents, et prévoient d'en demander les labellisations dans les meilleurs délais.

F. Soleil-Terre

Le Programme National Soleil-Terre est centré sur l'étude de l'atmosphère solaire, des relations Soleil-Terre et de l'environnement

ionisé de la Terre. Ce programme inclut également l'étude des magnétosphères planétaires qui permet d'enrichir notre compréhension des processus physiques à l'œuvre. Il concerne environ 240 chercheurs regroupés dans une quinzaine de laboratoires.

1. Fait marquant

Avec les satellites STEREO (lancé fin 2006) et *Solar Dynamics Observatory* (lancé début 2010), une nouvelle ère s'est ouverte où sont disponibles simultanément des observations *in situ* multi-points des éjections de matière provenant du Soleil (« Coronal Mass Ejection » ou CME) et des images haute résolution de la couronne et du milieu interplanétaire. C'est ainsi qu'il a été possible de suivre pour la première fois de façon continue la propagation d'une CME en analysant les zones d'augmentation de densité électronique observée dans ces nouvelles images. Ces observations ont confirmé que les éjections de matière provenant du Soleil sont structurées par un champ magnétique torsadé très intense. Elles ont aussi mis en évidence une évolution dynamique complexe (interactions, rotations, déflexions, reconnexion) de ces structures au cours de leur propagation entre le Soleil et la Terre. Ces observations permettront à terme de mieux prévoir les propriétés du champ magnétique à l'intérieur des CMEs, élément important pour la météorologie de l'espace. En stimulant l'analyse combinée de mesures *in situ* et de télédétection, la mission STEREO a été un élément fédérateur du PNST. Cette tendance se poursuivra et prendra un nouvel élan avec la mission *Solar Orbiter*.

2. Forces et faiblesses

Points forts

Le PNST s'appuie sur une approche coordonnée de plusieurs communautés (Soleil, vent solaire, magnétosphère, ionosphère) qui utilisent des techniques d'observation et de

modélisation différentes. Cette approche a accompagné les grands développements de la discipline au niveau international, notamment les projets fédérateurs comme *SoHO*, *Cluster*, *STEREO* ou *Solar Orbiter*. Il existe une bonne coordination de la communauté ainsi qu'une forte reconnaissance au niveau international. La communauté PNST a incontestablement une identité forte, et les nombreux ateliers organisés ou la participation importante aux colloques nationaux (Palaiseau, 2010 ; Lalonde les Maures, 2012 ; Sète, 2014) attestent de la bonne coordination. Il faut souligner par ailleurs un nombre significatif (une quinzaine) de projets ANR et de participations aux projets européens. La forte reconnaissance de la communauté PNST au niveau international est, elle aussi, incontestable avec de très nombreuses collaborations scientifiques et techniques, ainsi que des sollicitations à participer aux grands projets internationaux. Dans le domaine de l'instrumentation spatiale, la communauté française a notamment une compétence reconnue dans la réalisation de détecteurs de particules chargées, de capteurs électriques, magnétiques, rayonnements X et radio, en spectroscopie et en imagerie UV-EUV, ou encore en coronographie. Cette compétence se traduit par une forte implication des laboratoires français en tant que PIs et Co-Is d'instruments scientifiques, par exemple dans les grands projets de l'ESA (*SoHO*, *Cluster*, *Bepi Colombo*, *Solar Orbiter*, *JUICE*) et de la NASA (*THEMIS*, *STEREO*, *MMS*, *Solar Probe+*). Dans le domaine de l'instrumentation au sol, les compétences de la communauté française sont également reconnues, par exemple en spectro-polarimétrie optique (téléscope *THEMIS*), en interférométrie et spectrographie radio solaire (*NRH* et spectrographes de Nançay) ou encore dans les radars ionosphériques. On notera par ailleurs l'excellence des centres de données CDPP et MEDOC, comme en témoignent le nombre d'accès enregistrés et l'intérêt que ces centres présentent pour le programme *Space Situational Awareness* de l'ESA orienté vers la météorologie de l'espace. Parmi les points forts, notons enfin l'ouverture du PNST vers d'autres environnements planétaires pour enrichir notre compréhension des pro-

cessus à l'œuvre dans les plasmas, ainsi que des interactions nouvelles avec les plasmas de laboratoire et de fusion.

Points faibles

Concernant les points faibles du PNST, il avait déjà été noté, lors de l'exercice de prospective de 2009, que la communauté PNST était affectée par de nombreux départs à la retraite et un manque criant de personnel IT permanent. Si cette difficulté structurelle ne se limite pas à la seule communauté PNST, elle y prend un tour critique. Par exemple, les développements en instrumentation spatiale et les calendriers des missions mobilisent les équipes sur de nombreuses années, exigeant compétences et savoir faire qui ne peuvent être ponctuellement remplacés par des CDD. La forte diminution des recrutements conduit à une réduction importante de la taille des équipes engagées dans nombre de projets. On notera comme autre point faible que la communication sur les thématiques du PNST pourrait être davantage développée, aussi bien pour le recrutement de doctorants en provenance des écoles doctorales d'Astronomie-Astrophysique que pour le grand public (concernant par exemple les aspects sociétaux des relations Soleil-Terre).

3. Recommandations d'évolution

Consolider les moyens d'observation de la communauté française, en veillant au maintien et, autant que faire se peut, au développement, des équipes impliquées dans les grands projets d'instrumentation spatiale de la communauté (*Solar Orbiter*, *Bepi Colombo*, *Solar Probe+*, *JUICE*) et en soutenant la participation française à l'instrumentation au sol, à savoir : *SuperDARN*, *THEMIS* et le futur *EST* dont *Astronet* a récemment rappelé l'importance, *EISCAT 3D* ainsi que la radioastronomie solaire à Nançay. Enfin en développant les activités théoriques et de simulations numériques, axe transverse des activités de recherche de la communauté PNST.

Garantir le développement des centres de données, qui sont cruciaux pour l'archivage et la diffusion des données en physique héliosphérique, ainsi que pour la production de données à valeur ajoutée, en consolidant le personnel scientifique du pôle thématique MEDOC et en veillant au rapprochement des centres de données solaires ainsi qu'en encourageant la contribution des laboratoires français aux activités du CDPP.

Soutenir les activités liées à la météorologie de l'espace, par exemple via la labellisation de tâches de service. Dans ce cadre, soutenir également la participation de la France au programme *Space Situational Awareness* de l'ESA via les mesures d'observatoires au sol, les centres de données et les modèles.

G. Gravitation références astronomie métrologie

L'Action Spécifique GRAM (Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie) a été créée en 2010 par l'INSU avec le soutien du CNES et de l'INP. Elle a vocation à coordonner et développer des actions concernant la physique fondamentale dans l'espace, la métrologie de l'espace-temps, les systèmes de référence, la mécanique céleste et spatiale, et de donner une visibilité et un affichage des communautés concernées. Cette démarche s'appuie sur plusieurs types d'actions : Organisation de journées scientifiques et d'ateliers ; Expertise et soutien de projets dans son domaine ; Appel d'offres pour le soutien d'écoles, d'ateliers, de colloques, le soutien de développements instrumentaux, le soutien de recherches théoriques et d'analyse de donnée, le soutien d'interactions et d'échanges de savoir faire entre différents groupes.

1. Fait marquant

Les horloges atomiques ont connu un essor formidable ces dernières années, les horloges

optiques ayant surpassé les horloges à césium qui réalisent la définition de la seconde actuelle. L'incertitude des horloges optiques atteint aujourd'hui la gamme des 10^{-18} en exactitude et en stabilité de fréquence, ce qui conduira sans doute à une nouvelle définition de la seconde dans les années à venir. Les équipes françaises sont très compétitives, ayant réalisé les mesures les plus exactes de la fréquence SI d'une horloge optique et ayant obtenu le meilleur accord entre deux horloges optiques. Le temps universel coordonné, UTC, est l'échelle de temps de référence mondiale. Il est calculé en différé par le Bureau International des Poids et Mesures à partir de données d'horloges de nombreux pays et n'est donc pas disponible en temps réel pour dater des événements. Pour cette raison, l'Observatoire de Paris génère une approximation temps réel à UTC, l'UTC(OP), qui constitue la référence opérationnelle pour la mesure du temps en France et permet de matérialiser l'heure légale. D'autres pays génèrent des échelles de temps analogues, appelées collectivement des «UTC(k)». En octobre 2012, un nouveau système de réalisation d'UTC(OP) a été mis en service, qui tire partie de l'ensemble de fontaines atomiques du SYRTE pour piloter UTC(OP) très finement. Ce changement a conduit à une amélioration d'environ un ordre de grandeur de l'écart entre UTC(OP) et UTC, qui est passé de quelques dizaines de nanosecondes à quelques nanosecondes. Cette amélioration est utile pour les applications les plus avancées, telles que les systèmes européens de navigation par satellites, EGNOS et Galileo.

2. Forces et faiblesses

Points forts

La communauté française autour des thématiques GRAM a de nombreux atouts. Tout d'abord, grâce à l'ensemble de ses chercheurs, ingénieurs et techniciens, elle maîtrise les outils de pointe, qu'ils soient théoriques (physique théorique, mécanique céleste...) technologiques (atomes froids, lasers, interférométrie...)

ou observationnels (horloges, chronométrie des pulsars, VLBI, GPS, télémétrie laser, accéléromètres...).

Par ailleurs notre communauté a complètement intégré l'intérêt du segment spatial, particulièrement adapté à ses thématiques : la gravitation est traitée de façon beaucoup plus pure dans l'espace et l'espace fournit également un environnement privilégié pour certaines expériences métrologiques ainsi qu'un accès global aux systèmes de référence. Notre communauté a su construire des liens forts avec les agences spatiales, en particulier le CNES mais aussi l'ESA.

Grâce à ces compétences, la communauté joue un rôle important, et très souvent de leader, dans des projets très ambitieux, au sol et dans l'espace. On peut citer de façon non exhaustive Gaia (2013-) pour l'astrométrie, MéO (Métrologie Optique) pour la télémétrie laser sur la Lune et les satellites, REFIMEVE+ (2012-) et T2L2 (2008-) pour le transfert de fréquences et de temps, ACES/PHARAO (2016-) pour les tests de gravitation et la métrologie du temps dans l'espace et le transfert de fréquences, VIRGO et LISA-PATHFINDER (2015-) pour la détection des ondes gravitationnelles, MIGA (2016-) pour la détection des ondes gravitationnelles et l'observation des variations fines du champ de gravité, MICROSCOPE (2016-) pour le test du principe d'équivalence.

Ceci place la communauté française en position de leader mondial dans plusieurs secteurs, notamment en ce qui concerne la physique fondamentale dans l'espace. Ceci assure une très grande visibilité qui peut se vérifier par exemple par sa représentation dans les instances internationales (UAI, IERS, comités de l'ESA...) ou encore dans les comités scientifiques de colloques clés (Quantum to Cosmos, Rencontres de Moriond...).

Un point intéressant pour l'avenir de ces thématiques est une bonne implantation dans l'enseignement supérieur en particulier en master.

Points faibles

La principale difficulté à laquelle doit faire face la communauté GRAM est de trouver les ressources humaines et organisationnelles pour continuer à préparer l'avenir en renouvelant son expertise et en proposant de nouveaux projets tout en menant à bien les projets déjà engagés (ce qui est évidemment prioritaire). Cette communauté est moins nombreuse que la plupart des PN en astronomie et elle est distribuée dans des laboratoires relevant de différentes tutelles. Elle a cependant de nombreuses responsabilités importantes (en particulier PI de plusieurs projets spatiaux). Le risque potentiel est qu'il ne reste pas suffisamment de ressources pour être moteur dans les nouveaux développements aussi rapides que spectaculaires et dans les projets du futur.

La mise en place de l'organisation de l'exploitation des données de missions spatiales en physique fondamentale était certainement un point faible dans les années récentes mais des efforts et des progrès importants ont été réalisés dans la foulée du développement de LISA-PATHFINDER, ACES/PHARAO et MICROSCOPE, et l'AS GRAM continue à soutenir et structurer cet effort pour assurer le bon déroulement des projets engagés et futurs.

Nos succès récents dans le développement de projets spatiaux se situent pour la plupart dans des contextes particuliers (démonstrateur, station spatiale internationale, filière microsatsatellite du CNES). Il n'en reste pas moins que, au moins au niveau des laboratoires INSU, nous ne sommes pas en mesure de piloter une réponse à un grand projet spatial. De façon concrète nous n'avons pas de laboratoire spatial dans les domaines de GRAM.

Par ailleurs, si nous sommes globalement bien implantés dans l'enseignement avec un nombre satisfaisant d'étudiants en thèse, cette implantation reste très concentrée sur l'Île-de-France, le recrutement d'étudiants bien formés pouvant être plus compliqué en province.

Au niveau européen, il n'existe pas d'infrastructure de recherche (du type Europlanet) entre les laboratoires impliqués dans les projets

de physique fondamentale, même si ceux-ci communiquent déjà au travers des projets engagés ou de colloques scientifiques réguliers. Le GRAM pourrait être une antenne pour amorcer la mise en place d'une telle structure.

3. Recommandations d'évolution

Accompagner les missions spatiales décidées par des moyens sol appropriés pour optimiser l'exploitation des données, en particulier au niveau des Centres de Mission Scientifique (CMS). Cet accompagnement doit se prolonger dans l'exploitation des données de ces missions pour optimiser l'utilisation d'observations plus classiques (par exemple dans le cas de Gaia cela concerne le rattachement des repères de référence obtenus par d'autres techniques plus pérennes ou encore une exploitation optimisée d'observations plus anciennes).

Pérenniser le haut niveau français en métrologie du temps et de l'espace, en particulier sur les horloges, les lasers, le transfert de fréquences et de temps, l'interférométrie atomique, par le maintien du personnel compétent et par le soutien des projets actuels et futurs au sol et dans l'espace.

Mener une politique scientifique incitative et dynamique pour favoriser des nouveaux projets et applications (sol et espace) ambitieux, ce qui implique un risque technologique et programmatique que les tutelles (INSU, INP, CNES) doivent être prêtes à accepter. La capacité des laboratoires français à piloter des très grands projets doit être renforcée. C'est le prix du maintien de la position de leader mondial dont la France jouit actuellement.

Accompagner, en cas de besoin, les efforts qui viennent de débuter, avec l'appui du CNES, pour récupérer, mettre en forme et exploiter le plus grand nombre de données de navigation des sondes spatiales, y compris celles des missions dans lesquelles la communauté française n'est pas initialement impliquée ; ces données sont précieuses à double titre : elles peuvent d'une part contribuer à apporter des contraintes

pour les éphémérides planétaires et d'autre part être utilisées pour des tests de la gravitation.

II. Les outils de l'astrophysique

La recherche astrophysique en France s'appuie naturellement sur l'observation à l'aide de grands instruments au sein d'observatoires nationaux et internationaux, mais elle fait aussi appel aux grands instruments de la physique en laboratoire, aux moyens de calcul nationaux et européens ainsi qu'à des centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données.

A. Moyens d'observation lourds

Les moyens d'observation de l'INSU gérés en agences ou sociétés internationales (principalement ESO, CFHT, IRAM) sont des outils incontournables pour la communauté astrophysique française. Les évolutions et développements instrumentaux en cours offrent une excellente visibilité à court et moyen terme et permettront à la communauté de rester à la pointe de l'astronomie mondiale, avec notamment l'arrivée de SPIROU en 2017 au CFHT, la construction d'une caméra millimétrique (NIKA2) pour le 30 m de l'IRAM, l'achèvement de NOEMA sur le Plateau de Bure, les premières lumières de MUSE et SPHERE au VLT, l'arrivée prochaine de MATISSE et GRAVITY au VLTI, et la montée en puissance d'ALMA. Dans le domaine des astroparticules, l'observatoire Pierre Auger, pour les rayons cosmiques d'énergie extrême, et HESS, pour les photons de très haute énergie, restent des instruments uniques, tandis que le projet Advanced Virgo devrait conduire, à l'horizon 2021, à la première détection d'ondes gravitationnelles d'objets astrophysiques.

Sur le territoire national, les stations d'observation exploitent des créneaux scientifiques plus spécifiques et les évolutions instrumentales prévues assurent la visibilité et la compétitivité des équipes françaises à l'échelle d'une dizaine d'années. On citera Sophie à l'OHP dans le domaine des exoplanètes, le spectro-polarimètre Narval, avec des caractéristiques améliorées (NeoNarval), au TBL, et, à Nançay, la station LOFAR en voie d'extension (NenuFAR). Par ailleurs, le réseau temps-fréquence, moyen national de l'INSU, reste un domaine d'excellence français en pleine évolution.

Pour la prochaine décennie, la construction de l'E-ELT, télescope de 39 m, demeure la toute première priorité et doit se faire dans un délai compatible avec la compétition internationale. Après les instruments de première lumière MICADO et HARMONI, puis le spectrographe/imageur METIS, la priorité de notre communauté dans le plan de financement actuel est le spectrographe multi-objets (MOS) pour lequel les équipes françaises, regroupées dans le consortium MOSAIC, sont prêtes à jouer un rôle majeur. Avec une moindre priorité, la communauté est aussi fortement intéressée par le spectrographe à haute résolution HIRES, et à plus long terme, par la possibilité de participer à haut niveau à l'instrument PCS d'imagerie directe des exoplanètes.

Dans la catégorie des nouvelles infrastructures de type TGIR, deux fortes priorités sont ressorties de cet exercice : l'observatoire des photons de très haute énergie CTA, qui a un potentiel de découvertes considérable, et l'entrée au *board* de l'interféromètre radio SKA, qui permettra des avancées majeures dans des domaines extrêmement variés. Le paiement du ticket d'entrée permettra à la France de participer pleinement à la phase de définition de la première phase du projet (SKA1). Par ailleurs, le projet NOEMA d'extension de l'interféromètre millimétrique de l'IRAM, engagé suite aux recommandations de l'exercice de prospective 2009, reste bien sûr une forte priorité et doit donc être mené à son terme.

La participation à deux projets majeurs de l'astronomie américaine est recommandée. En

premier lieu, le LSST, qui imagera le ciel profond de façon répétée pendant 10 ans, est une opportunité sérieuse. L'IN2P3 du CNRS contribue fortement au projet et il est recommandé que cette contribution permette à des chercheurs INSU d'accéder au LSST. Une participation française au projet CCAT, télescope submillimétrique avec des capacités uniques en imagerie grand champ et spectroscopie à haute résolution, constituerait une excellente opportunité scientifique si un financement peut être trouvé.

En ce qui concerne l'instrumentation sur des infrastructures existantes, deux spectrographes multi-objets ont émergé en première priorité : MOONS sur le VLT au Chili, et WEAVE sur le WHT aux Canaries. Ces instruments permettront, entre autres, l'accompagnement sol de la mission Gaia, dans les hémisphères sud et nord respectivement. La priorité suivante est NenuFAR, un projet d'extension de la station française de LOFAR sur le site de Nançay, qui sera important dans le cadre du projet international LOFAR et de la préparation de notre communauté à SKA. Enfin, l'instrument 4MOST pour le télescope VISTA de l'ESO est ressorti comme un projet ambitieux qui permettra le suivi sol de sources Gaia de façon complémentaire à MOONS et qu'il convient de soutenir.

B. Grands moyens en astrophysique de laboratoire

L'astrophysique de laboratoire constitue l'un des grands moyens indispensable pour assurer l'avenir d'un retour scientifique pertinent sur les quantités croissantes de données astronomiques. Elle requiert des instruments engagés dans la mesure, la synchronisation et la compréhension des phénomènes observés, des dispositifs de simulation expérimentale de la diversité physique et chimique spécifique aux environnements astrophysiques, et s'étend jusqu'à l'analyse de matière extraterrestre collectée. Les activités d'astrophysique de labora-

toire, pour s'inscrire dans la durée, appellent à une véritable politique incitative sur les développements d'expériences en laboratoire au travers d'un financement récurrent du fonctionnement et du développement des dispositifs expérimentaux, et au couplage d'expériences ambitieuses sur les très grands équipements de la physique. L'INSU fournit un support de coordination en particulier par l'intermédiaire des programmes nationaux. Cette discipline nécessite un soutien lui permettant d'animer une interface interdisciplinaire forte avec d'autres communautés spécialistes, l'intégration de chercheurs à profil interdisciplinaire et de personnels techniques permanents spécialisés. L'INSU doit mener une politique inter Instituts active et en parallèle mener des actions structurantes tant au niveau national qu'europpéen.

C. Moyens de calcul nationaux et européens

Le calcul intensif est un outil essentiel de tous les champs de l'astrophysique. Ces cinq dernières années, le financement soutenu de GENCI, les investissements d'avenir, et la contribution des régions, ont permis à la France de mettre en place une infrastructure claire et robuste du HPC. Les moyens du HPC sont organisés sous la forme d'une pyramide, avec au centre GENCI et les trois centres nationaux (CINES, IDRIS, TGCC), en haut les centres européens PRACE, et à la base les mésocentres (notamment Equip@meso). Globalement, les chercheurs de la communauté INSU-AA sont extrêmement satisfaits de ces moyens qui répondent à la diversité de leurs besoins et de leurs pratiques. Certains points durs apparaissent néanmoins de manière récurrente, qui posent des questions de fond en termes de prospective.

D'abord, nous constatons ce que l'on peut appeler la « crise du Tier-3 » : si la pyramide du HPC met en place avec succès les trois Tiers (0, 1, 2) qui permettent de réaliser les calculs, et

donc de produire les données, elle n'inclut pas le dernier niveau où sont analysées et valorisées ces données. Les infrastructures locales qui ont été mises en œuvre pour répondre à ce problème atteignent déjà souvent le point de rupture et ne paraissent pas pouvoir tenir dans les années qui viennent avec le passage à l'ExaScale. Ensuite, l'évolution extrêmement rapide du HPC a entraîné une professionnalisation des activités du calcul, et il est de plus en plus difficile pour un chercheur d'être spécialiste et acteur de l'ensemble des éléments constituant la chaîne de production et de valorisation des données simulées. Nous faisons trois recommandations principales : (1) La réactivation de l'ASSNA, (2) La constitution d'un groupe de réflexion qui devra proposer et évaluer des solutions coordonnées à la crise du Tier-3, et (3) la création d'un comité *ad hoc* qui devra réfléchir à un soutien possible au calcul intensif en termes de Services d'Observation.

D. Centres de données nationaux

Les services de référence des centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données sont le cœur du Service d'Observation SO5. Ces services doivent être pérennes sur le moyen et long terme (au minimum 10 ans) et doivent évoluer selon les besoins des utilisateurs. Recommandée par la dernière prospective INSU-AA, la structuration des services d'observation SO5 a été depuis menée à bien. Un élément central de cette structuration est la mise en place de centres d'expertise régionaux et de pôles thématiques nationaux. Un centre d'expertise régional ou un pôle thématique national est labellisé par l'INSU avec une liste des services associés. Au cours d'une première campagne, cinq centres et quatre pôles ont été labellisés. La nouvelle structuration représente un grand changement et un effort important pour la communauté. Il est désormais nécessaire de pérenniser et consolider cette nouvelle structuration qui devra assurer le bon fonction-

nement des services SO5. Déjà bien avancé, le processus de mise en place de centres d'expertise régionaux doit continuer sans relâche. La constitution des pôles thématiques nationaux représente une étape clé du processus de structuration. Leur mise en place opérationnelle doit être effectuée le plus tôt possible.

III. Organisation de la discipline

Cette section reprend quelques éléments du groupe « organisation de la discipline » mis en place par l'INSU dans le cadre de l'exercice de prospective Astronomie-Astrophysique 2014. Le mandat de ce groupe était d'avancer vers des recommandations et propositions concrètes d'organisation de la discipline pour une meilleure efficacité scientifique et technique ainsi que pour la gestion des ressources humaines.

A. Laboratoires et unités

Depuis le dernier rapport de conjoncture (2010), le contexte de la recherche en général et de l'astronomie en particulier a considérablement changé que ce soit au niveau du paysage des laboratoires (UMRs & USRs) dont certains, au gré des regroupements d'unités se sont vus intégrés dans des structures « communes » avec les universités (OSUs qui constituent les écoles internes des universités), ou en terme de statuts des nouvelles embauches des personnels (Chercheurs, Enseignants/Chercheurs, ou IT).

Bien que ce ne soit pas le cas pour tous, un nombre non négligeable de laboratoires A&A sont intégrés dans les OSUs. Depuis la création des OSUs, quelques unités ont été regroupées (exemple LAOG & IPG à Grenoble), le nombre de ces OSUs a été également considérablement augmenté depuis 2010.

Fin 2013 il y avait 27 OSUs, dont 25 en métropole, ils comprennent des UMR et aussi au moins une UMS, unité regroupant les moyens communs. Comme le statut le précise, elles constituent des écoles internes aux universités de rattachement. L'astronomie astrophysique n'est pas représentée dans tous les OSUs et certains, comme l'OSU Nord, n'ont pas de laboratoires A&A.

La répartition géographique a peu évolué depuis 2010. La moitié des personnels est toujours située en Île-de-France, du fait du grand nombre d'unités présentes dans la région.

B. Répartition des personnels

Fin 2013 la totalité des 37 unités A&A comprenait 3 352 agents tous statuts, grades, genres confondus, on comptait 2 569 agents permanents, dont environ 800 chercheurs et 1 330 IT. Si le nombre d'IT recensé est supérieur de 30 % par rapport à 2009 (date du précédent exercice de prospective) cela vient de la création d'OSUs pluridisciplinaires et du fait que les données Labintel ne différencient pas les IT de ces OSUs selon leur domaine de rattachement. Ainsi certains agents des UMS, non A&A apparaissent dans ce décompte.

On constate une diminution du nombre de chercheurs CNRS, qui s'érode année après année, comme une des conséquences des restrictions du nombre de recrutements depuis quelques années. Celui des Enseignants-Chercheurs (204 fin 2012), comme celui des chercheurs non CNRS (220 CNAP) reste quasi stable.

Par rapport à 2009, la population des Post Docs a augmenté de 150 %. C'est clairement une conséquence de la multiplication des projets de type ANR qui a résulté en un accroissement du nombre de post-docs dans les labos. Si le potentiel de recherche s'en trouve augmenté c'est au détriment du potentiel de développement des projets associés (accompagnements techniques et administratifs), le rapport cher-

cheurs/ITs n'ayant clairement pas été conservé pendant cette période.

La proportion de doctorants dans les laboratoires (près de 1/3) reflète bien un intérêt fort pour les thématiques A&A qu'elles soient émergentes ou déjà anciennes. Le problème du devenir de ces doctorants va apparaître très rapidement, notamment du fait de la baisse drastique des recrutements annoncée pour les années à venir. Cette inquiétude, mise en lumière par le communiqué du Comité National de la Recherche Scientifique en date du 11 Juin 2014, fait également partie des remontées des laboratoires.

Le nombre de chercheurs en «éméritat» a naturellement augmenté, puisque la création du statut est maintenant ancienne. On voit ainsi apparaître des deuxièmes demandes de renouvellement d'éméritat, la limitation du nombre de périodes ayant disparu.

L'explosion des personnels non titulaires (+ 80 %) reflète bien la politique mise en œuvre dans les laboratoires pour faire face aux besoins sur projets, dans un contexte de recrutements d'agents titulaires très contraints par les tutelles. Le recours à des personnels temporaires sur des contrats initialement limités à 6 ans et aujourd'hui, du fait de la loi Sauvadet, à 3-4 ans, est vu par les laboratoires comme peu favorable à l'établissement, notamment en terme de pérennisations des savoirs et de continuité sur les projets de la discipline, dont la durée est souvent de l'ordre de la dizaine d'années.

À noter que cette augmentation touche principalement les agents IT : le nombre d'Ingénieurs de Recherche s'est accru de près de 40 %, celui des Ingénieurs d'études de 35 % ; des AI de 60 % ; enfin celui des catégories Techniciens est resté stable pratiquement.

En 2010 le rapport indiquait qu'il y avait 350 personnels temporaires (chercheurs et IT confondus) et 350 étudiants. En 2013 les chiffres sont passés à 480 étudiants et 760 CDD et vacataires recensés sous «personnels non permanents» ; conséquences de la politique de gestion des projets par l'ANR.

La recommandation faite en 2009 (à l'occasion de l'exercice de prospective) dans le sens d'une limitation des effectifs «précaires» n'a donc pas été suivie, la conjoncture reste l'une des causes principales de l'augmentation de ces populations.

La proportion de non-remplacement des personnels permanents continue de croître. En 2013, 3 IT sur 4 avaient été remplacés, ainsi que 2,5 chercheurs sur 3. En 2014, le remplacement tombe à 2 sur 3 pour les IT comme pour les chercheurs, enfin, en 2015 il n'est prévu que 1 sur 3 pour les IT et 2 sur 3 pour les chercheurs.

Cette situation sur l'emploi, à un niveau moindre, avait déjà été notée lors de la prospective 2009 comme un motif de préoccupation. Elle apparaît aujourd'hui comme un problème majeur dans les remontées des laboratoires.

C. Recrutement de jeunes chercheurs par la section 17

1. Parité

Le problème de la différence H/F reste le même qu'en 2009 (date du précédent exercice de prospective). Il n'y a d'ailleurs eu aucune amorce significative de changement, quel que soit le statut (CNRS, CNAP, Université). On note aussi la même variation en fonction des catégories (plus celles-ci sont élevées plus le ratio H/F est important).

Si la situation n'a pas évolué, elle demande cependant toujours à être prise en considération. Une enquête a été menée sur la parité dans le recrutement, faisant apparaître comme principale conclusion que le nombre d'années après la thèse est le principal critère d'élimination des femmes : on constate que le rapport candidates/candidats, qui est quasiment égal à 1 dans l'année qui suit la thèse, tombe à zéro ou presque à thèse plus 4 ou 5 ans.

L'augmentation de l'âge moyen au moment du recrutement, liée à la diminution du nombre de postes ouverts aux concours, pénalise de fait les femmes et il convient de corriger cet effet.

2. Recrutement de chercheurs handicapés

Deux recrutements de chercheur au titre du handicap ont été effectués, l'un en 2011 titularisé en 2012, l'autre en 2013 titularisé en 2014. À titre de comparaison, ont été ouverts au titre du handicap pour l'ensemble du CNRS, 13 postes de chargé de recherche en 2011 dont 9 ont été pourvus et 6 postes de chargé de recherche en 2012 tous pourvus. L'AA se place de façon tout à fait satisfaisante selon ce critère mais il est souhaitable de sensibiliser les unités au recrutement de handicapés ainsi qu'aux possibilités offertes par cette filière de recrutement.

3. Recrutement de chercheurs interdisciplinaires

La section 17 a été confrontée, lors des concours de recrutement chercheurs, à des cas difficiles à traiter de candidats interdisciplinaires de valeur qu'elle n'a pas pu recruter. Les chaires d'excellence permettaient de répondre à ce type de problème, mais elles n'existent plus... De tels cas particuliers (par exemple un candidat très fort en calcul numérique pour le traitement du signal) pourraient être traités en lien avec l'INSU et la Mission Interdisciplinarité du CNRS.

La section 17 recommande, de manière générale, de faire davantage appel à la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS. Celle-ci a pour but de favoriser l'émergence de nouvelles thématiques interdisciplinaires mais son mode de fonctionnement est mal connu des chercheurs qui ne font pas suffisamment appel à elle.

Le problème des interfaces est très important pour notre discipline, notamment à l'interface avec la physique des particules mais aussi

avec la physique théorique (la détection des ondes gravitationnelles en est une bonne illustration) sans oublier la chimie.

Enfin, toujours en ce qui concerne les recrutements de chercheurs interdisciplinaires, la section 17 regrette la disparition de la CID 47 «Astroparticules» dont le bon fonctionnement (de 2003 à 2008) avait été unanimement reconnu. Elle avait permis de recruter 18 chargés de recherche au cours de ses six années de fonctionnement.

Conclusion

La communauté astrophysique française est fortement impliquée dans de nombreux projets internationaux. Les satellites Planck et Herschel nous apportent des résultats majeurs en matière de cosmologie et de physique stellaire. La mise en service du radiotélescope ALMA et le lancement réussi du satellite Gaia, le démarrage du chantier de l'E-ELT et l'autre grand projet sol européen, CTA, sont autant de points positifs pour notre discipline. Pour compléter ce décor, il convient de citer les missions spatiales sélectionnées par l'ESA pour la décennie à venir : Solar Orbiter, CHEOPS, Euclid, JUICE et PLATO.

De nombreux chercheurs français sont PI d'instruments attachés aux projets énumérés ci-dessus et on aurait donc toutes les raisons de voir l'avenir avec confiance s'il n'y avait pas le problème inquiétant de la baisse des recrutements de chercheurs que l'on constate actuellement, notamment au CNRS. De plus, dans une discipline comme la nôtre, qui fait appel à de nombreux équipements de haute technologie, il est nécessaire d'avoir des équipes techniques solides et permanentes sur lesquelles les chercheurs peuvent s'appuyer. La baisse des effectifs d'ingénieurs et techniciens statutaires et l'appel croissant à des CDD est un autre motif d'inquiétude de notre communauté.

Annexe

Signification des sigles et des abréviations.	CDPP : Centre de Données de la Physique des Plasmas
2FGL : Fermi LAT 2-Year Source Catalog	CDS : Centre de Données astronomiques de Strasbourg
4MOST : 4-meter Multi-Object Spectroscopic Telescope	CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique
AA : Astronomie Astrophysique	CFHT : Canada-France-Hawaii Telescope
ACES : Atomic Clock Ensemble in Space	CFHT-LS : Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey
ACT : Atacama Cosmology Telescope	CHARA : Center for High Angular Resolution Astronomy
AGN : Active Galaxies Nucleus	CHEOPS : CHaracterising ExOPlanets Satellite
ALMA : Atacama Large Millimeter/submillimeter Array	CINES : Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur
ANR : Agence Nationale de la Recherche	CNAP : Conseil National des Astronomes et Physiciens
APEX : Atacama Pathfinder EXperiment	CNES : Centre National d'Études Spatiales
APOGEE : Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment	CMB : Cosmic Microwave Background
ArTÉMIS : Architectures de bolomètres pour des Télescopes à grand champ de vue dans le domaine sub-Millimétrique au Sol	CoRoT : CONvection, ROTation et Transits planétaires
ASHRA : Action Spécifique Haute Résolution Angulaire	COSMOS : Cosmological Evolution Survey
ASKAP : Australian Square Kilometre Array Pathfinder	COST : European Cooperation in Science and Technology
ASOV : Action Spécifique Observatoires Virtuels France	CTA : Cherenkov Telescope Array
ASSNA : Action Spécifique pour les Simulations Numériques en Astronomie	DESI : Dark Energy Spectroscopic Instrument
ASTRONET : ERA-Net pour l'astro-physique financé par la Commission Européenne	DPAC : Data Processing and Analysis Consortium (pour le satellite Gaia)
BAO : Baryon Acoustic Oscillations	ECLA : European Conference on Laboratory Astrophysics
BOSS : Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (projet du SDSS-III)	EGI : European Grid Infrastructure
CC-IN2P3 : Centre de Calcul de l'IN2P3	E-ELT : European Extremely Large Telescope
CCAT : Cornell Caltech Atacama Telescope	EELTMOS : Multi Object Spectrograph for the E-ELT

EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service	GALEX : Galaxy Evolution Explorer
EISCAT : European Incoherent SCATter scientific association	GAP : Gravity Advanced Package
eLISA : evolved Laser Interferometer Space Antenna	GdR : Groupement de Recherche
ELT : Extremely Large Telescope	GeV : Giga électron-Volt
ELT-CAM : Camera for the E-ELT	GENCI : Grand Equipement National de Calcul Intensif
EMBRACE : Electronic Multibeam Radio Astronomy Concept	GFT : Ground Follow-up Telescope
EPICS : Exo-Planet Imaging Camera and Spectrograph (for the E-ELT)	GRAM : Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie
EPOV : Environnements Planétaires et Origine de la Vie	GRAVITY : General Relativity Analysis via VLT InTerferometry
EPTA : European Pulsar Timing Array	H2020 : Horizon 2020 (programme européen de R&D pour la période 2014-2020)
ERA-NET : European Research Area-Network	HARMONI : Spectromètre intégral de champ, dans le visible et le proche IR pour l'E-ELT
eROSITA : eROSITA (extended Roentgen Survey with an Imaging Telescope Array)	HARPS : High Accuracy Radial velocity Planet Searcher
ESA : European Space Agency	HARPS-N : HARPS-North
ESFRI : European Strategy Forum for Research Infrastructure	HESS : High Energy Spectroscopic System
ESO : European Southern Observatory (The European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere)	HFI : High Frequency Instrument (Planck)
ESPaDOnS : Echelle SpectroPolArimetric Device for the ObservatiON of Stars	HPC : High Performance Computing
ESPRESSO : Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations	HR : Hertzsprung-Russell
EST : European Solar Telescope	HSHS : Hubble Sphere Hydrogen Survey
ETP : Équivalent Temps Plein	IAS : Institut d'Astrophysique Spatiale
EUCLID : ESA Dark Energy mission	ICRF : International Celestial Reference Frame
EUV : Extreme UV	IDRIS : Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique
GANIL : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds	IERS : International Earth Rotation Service
	IMAGES : Intermediate MAss Galaxy Evolution Sequence
	IMCCE : Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides
	IMF : Initial Mass Function

IN2P3 : Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules	LATMOS : Laboratoire ATmosphères Milieux Observations Spatiales
INC : Institut de Chimie	LESIA : Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique
INP : Institut de Physique	LIA : Laboratoire International Associé
INSU : Institut National des Sciences de l'Univers	LISA : Laser Interferometer Space Antenna
INTEGRAL : International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory	LMC : Large Magellanic Cloud
IOTA : Infrared Optical Telescope Array	LOFAR : Low Frequency Array
IPAG : Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble	LSST : Large Synoptic Survey Telescope
IPSL : Institut Pierre Simon Laplace	Λ CDM : Lambda Cold Dark Matter (modèle cosmologique standard)
IR : Infrarouge + Ingénieur de Recherche	M31 : Messier 31 (Galaxie d'Andromède)
IRAM : Institut de Radioastronomie Millimétrique	MASSIV : Mass Assembly Survey with SINFONI in VVDS
IRFU : Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers	MATISSE : Multi-AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment
IT : Ingénieurs et Techniciens	MEDOC : Multi Experiment Data and Operation Centre
ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor	MeerKAT : Karoo Array Telescope
IVOA : International Virtual Observatory Alliance	METIS : Mid-infrared European Extremely Large Telescope Imager and Spectrograph
IXO : International X-ray Observatory	MGS : Mars Global Surveyor
JETSET : Jets Simulations, Experiments and Theory	MHD : MagnétoHydroDynamique
JMMC : Jean-Marie Mariotti Centre	MICADO : Multi-AO Imaging Camera for Deep Observations
JUICE : Jupiter Icy Moon Explorer	MICROSCOPE : MICRO-Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Équivalence
JVLA : Karl G. Jansky Very Large Array	MIGA : Matter-wave-Interferometer based Gravitation Antenna
JWST : James Webb Space Telescope	MIS : Milieu InterStellaire
KM3NeTCubic : Kilometre Neutrino Telescope	MMS : Magnetospheric MultiScale
LAB : Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux	MOONS Multi Object Optical and Near-infrared Spectrograph for the VLT
LAM : Laboratoire d'Astrophysique de Marseille	MOS : Multi Object Spectrograph
LAT : Large Area Telescope (de Fermi)	

MOSAIC Multi-Object Spectrograph for Astrophysics, Intergalactic-medium studies and Cosmology (E-ELT)	PNCG : Programme National Cosmologie et Galaxies
MRO : Mars Reconnaissance Orbiter	PNHE : Programme National Hautes Énergies
MSL : Mars Science Laboratory	PNP : Programme National Planétologie
MUSE : Multi Unit Spectroscopic Explorer	PNPS : Programme National de Physique Stellaire
Narval : Spectropolarimètre stellaire au TBL	PNST : Programme National Soleil-Terre
NASA : National Aeronautics and Space Administration	PRACE : Partnership for Advanced Computing in Europe
NenuFAR : New Extension in Nançay Upgrading loFAR	QUBIC : Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology
NIKA2 : New Instrument of Kids Arrays	R&D : Recherche et Développement
NOEMA : NORthern Extended Millimeter : Array	REFIMEVE : Réseau Fibré Métrologique à Vocation Européenne
NRH : Nançay RadioHeliograph	SAM : Sample Analysis at Mars
OCEVU : Origine Constituants et Evolution de l'Univers (Labex)	SDSS : Sloan Digital Sky Survey
OFT : OCEVU Fast Telescope	SKA : Square Kilometer Array
OHP : Observatoire de Haute Provence	SNiA : SuperNova de type Ia
OSU : Observatoire des Sciences de l'Univers	SoHO : Solar and Heliospheric Observatory
OV : Observatoire Virtuel	SOLEIL : Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE
PdBI : Plateau de Bure Interferometer	Sophie : Spectrographe échelle au 1,93 m de l'OHP (détection d'exoplanètes)
PCMI : Physique Chimie du Milieu Interstellaire (PN)	SPHERE : Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research
PCS : Planetary Camera and Spectrograph	SPIROU : SpectroPolarimètre InfraROUge
PHARAO : Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbite	SPIP : SPIROU au Pic du midi
PI : Principal Investigator	SPT : South Pole Telescope
PIONIER : Precision Integrated-Optics Near-infrared Imaging Experiment	STEREO : Solar TERrestrial Relations Observatory
PIRENEA : Piège à Ions pour la Recherche et l'Étude de Nouvelles Espèces Astrochimiques	Super-DARN : Super Dual Auroral Radar Network
PLATO : PLANetary Transit and Oscillations of stars	SVOM : Space-based multiband Variable Object Monitor
PN : Programme National	SYRTE : Systèmes de Référence Temps-Espace

T2L2 : Transfert de Temps par Lien Laser	UV : UltraViolet
TAC : Time Allocation Committee	VEGA : Visible spEctroGraph and polArimeter for the CHARA Array
TBL : Télescope Bernard Lyot	VIPERS : VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey
TCFH : Télescope Canada France Hawaii	VISTA : Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy
TESS : Transiting Exoplanet Survey Satellite	VLBI : Very Long Base Interferometry
TeV : Téra électron-Volt	VLT(I) : Very Large Telescope (Interferome-ter)
TGE : Très Grand Equipement	VVDS : VIMOS Very Deep Survey
TGCC : Très Grand Centre de calcul du CEA	VUDS : VIMOS Ultra Deep Survey
TGIR : Très Grandes Infrastructures de Recherche	X-IFU : X-ray Integral Field Unit (Athena)
THEMIS : Télescope Héliographique pour l'Étude du Magnétisme et des Instabilités Solaires (sol)	XMM : X-Ray Multi-Mirror
THEMIS : Time History of Events and Macro-scale Interactions during Substorms (satellites)	WEAVE : WHT Enhanced Area Velocity Explorer
UAI : Union Astronomique Internationale	WHT : William Herschel Telescope
UMR : Unité Mixte de Recherche	WMAP : Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (NASA)
UMS : Unité Mixte de Service	ZeV : Zetta électron-Volt
USR : Unité de Service et de Recherche	

Comité national de la recherche scientifique. « Section 17- Système solaire et univers lointain ». *Rapport de conjoncture 2014*, [édition PDF en ligne]. ISBN : 978-2-271-08746-1. Disponible sur : <http://rapports-du-comite-national.cnrs.fr/>